

Orano TN DOSSIER DE SURETE TN 81	Diffusion limitée Orano - Autorités		 orano
	ANNEXE 00-1		
	Préparateur / signature	Date	
	Vérificateur / signature	Date	
Identification :		DOS-07-00089301-002	Version : 1.0
			Page 1 / 17

TN International

DESCRIPTION ET PERFORMANCES DU MODELE DE COLIS TN 81

Sommaire

ÉTAT DE LA RÉVISION	2
1. OBJET	3
2. DESCRIPTION ET DEFINITIONS	3
3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE	6
4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE	8
5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT	10
6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION	12
7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SURETE-CRITICITE	14
8. CONDITIONS D'UTILISATION	15
9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PERIODIQUE	15
10. PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITE	16
11. REFERENCES	17

ÉTAT DE LA RÉVISION

Version	Date	Modifications	Préparé par / Vérifié par
1.0	09/2018	Création du document	

1. OBJET

L'objet de ce chapitre est de décrire les caractéristiques des performances du modèle de colis TN 81 option b, destiné :

- au transport (par voie routière, ferroviaire ou maritime) et au stockage de Canisters Standards de Déchets vitrifiés de type CSD-V, CSD-B ou CSD-U ou un chargement mixte de Canisters Standards de Déchets vitrifiés de type CSD-V et CSD-B,
- ou au transport (par voie routière, ferroviaire ou maritime) de Canisters Standards de Déchets Compactés CSD-C ou un chargement mixte de Canisters Standards de Déchets Compactés CSD-C et de Canisters Standards de Déchets vitrifiés de type CSD-B,

en tant que colis de type B(U) contenant des matières fissiles au regard de la réglementation <1>.

2. DESCRIPTION ET DEFINITIONS

2.1. Description du colis TN 81 option b

L'emballage TN 81 option b est de forme générale cylindrique. Il est conçu soit :

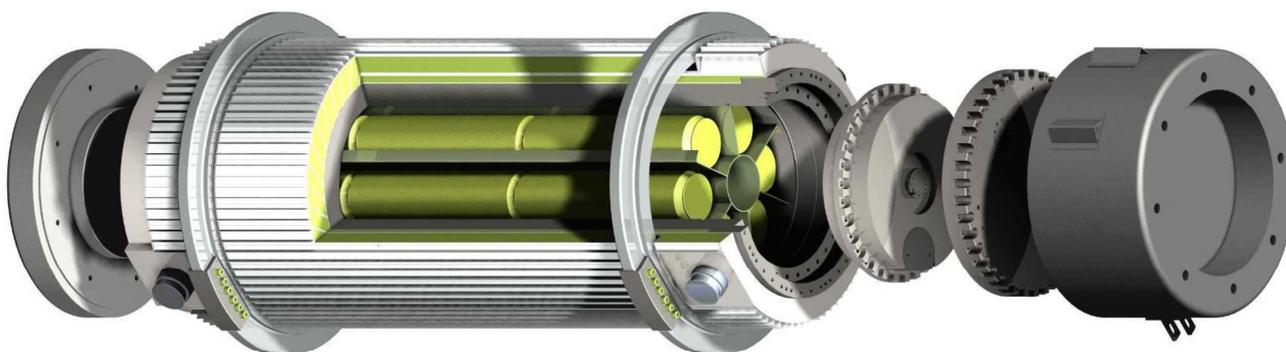
- pour transporter et stocker des Canisters Standards de Déchets vitrifiés de type CSD-V, CSD-B ou CSD-U ou un chargement mixte de déchets vitrifiés de type CSD-V et CSD-B,

soit :

- pour transporter des Canisters Standards de Déchets Compactés CSD-C ou un chargement mixte de déchets compactés CSD-C et de déchets vitrifiés de type CSD-B.

L'emballage TN 81 dispose d'un panier qui assure pendant le transport et le stockage, le cas échéant, le positionnement des canisters dans la cavité de l'emballage.

Le colis TN 81 en vue éclatée est illustré sur la figure ci-dessous :



Les dimensions extérieures hors-tout de l'emballage TN 81 sont :

- longueur : 7 215 mm,
- diamètre externe : 2 750 mm (au niveau des couronnes).

Le colis TN 81 est transportable par voie terrestre (routier ou ferroviaire) et maritime.

2.2. Description de l'emballage TN 81

Les principaux composants de l'emballage sont :

Corps :

Le corps de forme générale cylindrique est composé d'une virole épaisse (ou d'un ensemble correspondant composé de plusieurs viroles courtes soudées entres elles) et d'un fond, en acier au carbone forgé, réunis par une soudure pleine pénétration.

En section courante, des profilés aluminium sont vissés à la surface externe de la virole forgée. Ils sont remplis par des plaques de plomb, une plaque d'acier et de la résine neutrophage.

La surface externe de l'enveloppe externe est peinte.

Système de fermeture :

L'emballage TN 81 possède deux configurations possibles notées T1 ou T2 (voir §2.4).
Suivant la configuration, le système de fermeture n'est pas le même :

- Configuration T1

Le système de fermeture est composé :

- d'un couvercle primaire ou d'un couvercle primaire de transport en acier au carbone forgé, fixé à la virole forgée par des vis. Ces couvercles sont équipés respectivement d'un joint métallique ou de deux joints élastomères. L'orifice du couvercle primaire ou du couvercle primaire de transport est équipé d'un tampon d'orifice recouvert par une tape de fermeture, qui est munie d'un joint métallique double tore pour le couvercle primaire et de deux joints en élastomères pour le couvercle primaire de transport.
- une plaque optionnelle de protection de portée de joints du couvercle secondaire,
- une bride en aluminium.

- Configuration T2

Le système de fermeture est composé :

- d'un couvercle primaire, fixé à la virole forgée par des vis. Le couvercle est équipé d'un joint métallique,
- un couvercle secondaire en acier. Ce couvercle est équipé d'un joint métallique. L'orifice du couvercle secondaire est fermé par une tape de couplage munie d'un joint métallique double tore.

Tourillons :

Deux paires de tourillons (une en partie haute de l'emballage et une en partie basse) sont fixées aux extrémités de la virole et permettent l'arrimage et la manutention de l'emballage.

Capots amortisseurs :

Deux capots amortisseurs (en tête et en fond) assurent la protection du système de fermeture et du fond de l'emballage contre les chocs en conditions normales et accidentelles de transport.

Couronne aluminium :

Deux couronnes de transport sont situées aux extrémités de l'emballage entre les tourillons. Elles assurent une protection contre les chocs en conditions normales et accidentelles de transport.

2.3. Description du contenu

Le contenu est constitué par l'aménagement interne prenant place dans la cavité et les canisters.

2.3.1. L'aménagement interne

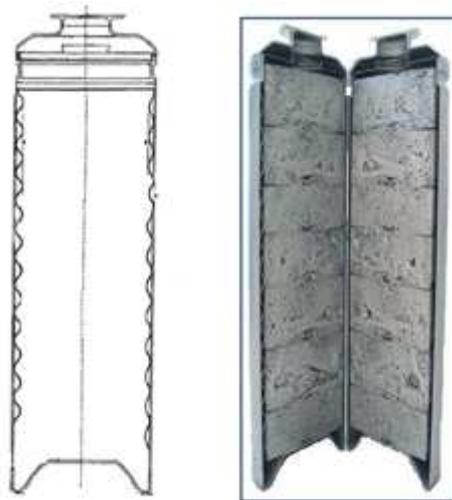
L'aménagement interne est composé d'un panier, comportant des logements destinés à recevoir jusqu'à 28 canisters empilés sur 4 niveaux.

2.3.2. Les canisters

Canisters Standards de Déchets Compactés (CSD-C) :

Les CSD-C sont transportés dans la configuration T1 de l'emballage TN 81.

Ils ont une forme générale de bouteille cylindrique (voir figure ci-après).



Canisters Standards de Déchets Compactés

Les CSD-C sont issus du traitement de combustibles irradiés. Ils sont en acier inoxydable, remplis d'éléments de structure et de déchets technologiques métalliques compactés sous forme de galettes.

Canisters de déchets vitrifiés :

Les Canisters Standards de déchets vitrifiés sont transportés dans la configuration T1 ou T2 de l'emballage TN 81.

Ils peuvent être de 3 types : CSD-V, CSD-U et CSD-B. Ils possèdent une géométrie similaire aux canisters de déchets compactés (CSD-C).

Les CSD-V peuvent être produits par :

- Orano Cycle La Hague : Ils sont constitués de résidus provenant du retraitement d'éléments combustibles usés UOX ou UOX et MOX,
- Sellafield Ltd. : Ils sont constitués de résidus provenant du retraitement de combustibles Magnox, AGR, REB et REP.

Les résidus vitrifiés des CSD-U sont produits par Orano Cycle La Hague et sont issus du conditionnement par vitrification des solutions de produits de fission issues du traitement des combustibles UNGG.

Les résidus vitrifiés des CSD-B sont produits par Orano Cycle La Hague et sont issus du conditionnement par vitrification d'effluents de moyenne activité provenant principalement des opérations de rinçage effectuées dans le cadre de la mise à l'arrêt définitif de l'usine UP2-400.

2.4. Enceinte de confinement

L'enceinte de confinement est différente qu'il s'agisse de la configuration T1 ou T2 utilisée.

Configuration T1 :

En fonction du contenu transporté par l'emballage, l'enceinte de confinement de la configuration T1 n'est pas la même :

- Transport de résidus vitrifiés : L'enveloppe de confinement est constituée par la virole forgée avec son fond forgé et la soudure pleine pénétration permettant de relier la virole au fond, et du couvercle primaire avec son joint métallique et sa tape d'orifice avec son joint métallique,
- Transport de déchets compactés : L'enveloppe de confinement est constituée par la virole forgée avec son fond forgé et la soudure pleine pénétration permettant de relier la virole au fond, et du couvercle primaire avec son joint métallique et sa tape d'orifice avec son joint métallique ou du couvercle primaire de transport avec ses joints élastomères et sa tape d'orifice avec ses joints élastomère.

Configuration T2 :

L'enveloppe de confinement de l'emballage est constituée par la virole forgée avec son fond forgé et la soudure pleine pénétration permettant de relier la virole au fond, le couvercle secondaire avec son joint métallique, la tape de couplage et son joint métallique.

2.5. Bilan de masses

La masse maximale autorisée de l'emballage avec son chargement en transport est de :

- Pour la configuration T1 : 113 700 kg.
- Pour la configuration T2 : 115 900 kg.

Cette masse est celle utilisée de façon générique dans les études de sûreté.

3. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE MECANIQUE

3.1. Conditions de transport de routine

Tenue mécanique de l'enveloppe de confinement

La tenue mécanique des principaux composants de l'enveloppe de confinement à savoir la virole, le fond soudé, les couvercles et leurs tapes est vérifiée dans les conditions de transport de routine en tenant compte :

- des effets de différentiel de pression entre l'intérieur et l'extérieur de l'emballage,
- des gradients thermiques et de la température,
- des accélérations représentatives des conditions de transport de routine.

Tenue mécanique des structures annexes

La tenue mécanique des structures annexes de l'emballage TN 81 (enveloppe externe, capots, ensemble de la visserie, ...) est vérifiée.

Ces éléments sont justifiés pour une pression de service, des différentiels thermiques et une accélération représentatifs des conditions de transport de routine.

Identification :

DOS-07-00089301-002

Version :

1.0

Page 7 sur 17

Tenue mécanique des points de manutention et d'arrimage de l'emballage

L'arrimage et la manutention du colis sont réalisés par les 2 paires de tourillons (2 en tête et 2 en fond) vissés sur le corps forgé.

La tenue des tourillons est justifiée pour des chargements statiques représentatifs des accélérations vues en transport.

La tenue en fatigue suite au cumul des cycles de sollicitation en transport et en manutention est également démontrée.

Les études permettent de justifier la tenue mécanique des tourillons pour une utilisation de plusieurs dizaines de transports.

3.2. Conditions normales de transport

La résistance de l'emballage aux épreuves réglementaires relatives aux conditions normales de transport est analysée, à savoir :

- l'épreuve de gerbage,
- l'épreuve d'aspersion et de pénétration,
- l'épreuve de chute libre de 30 cm.

Epreuve de gerbage

La forme convexe de l'emballage empêche tout gerbage.

Epreuve d'aspersion et de pénétration

Ces épreuves ne peuvent pas avoir d'effet sur la sûreté du colis compte tenu de la forme du colis, de la nature et des épaisseurs des matériaux du colis.

Epreuve de chute libre de 30 cm

La campagne de chutes effectuée sur maquette dans les conditions normales de transport a démontré que l'emballage peut supporter ces épreuves de chute sans aucune modification des hypothèses prises dans les analyses de sûreté.

3.3. Conditions accidentelles de transport

L'ensemble des analyses de chute est réalisée en considérant une énergie de chute correspondant aux masses maximales admissibles de colis de 113,7 tonnes en configuration T1 et 115,9 tonnes en configuration T2.

La hauteur réelle prend en compte la correction liée aux dimensions de la maquette et l'ajustement avec la masse réelle de la maquette.

Ensemble des chutes étudiées

Toutes les configurations possibles de chute libre de 9 mètres et de 1 mètre sur poinçon sont étudiées. Les séquences de chutes retenues et testées physiquement sont celles maximisant les dommages possibles:

- à l'emballage et son système de fermeture,
- aux capots et à leurs systèmes de fixation,
- aux couronnes et à leurs systèmes de fixation.

Les épreuves de chutes ont été réalisées avec une maquette représentative du modèle de colis à l'échelle 1/3.

Des règles de similitudes sont appliquées afin de garantir que les contraintes mécaniques dans les composants de la maquette sont à minima les mêmes que celles dans les composants du modèle d'emballage. Le comportement mécanique en chute sera le même sur la maquette et sur le colis.

Les séquences de chutes ont été complétées par des analyses numériques, utilisant des modèles numériques représentatifs du comportement de l'emballage durant les essais de chute sur maquette.

Les résultats des essais et des analyses complémentaires montrent que l'emballage dans ses différentes configurations conserve son étanchéité et son blindage après chute, quelle qu'en soit l'orientation. Il en résulte également que la forme des couronnes et des tourillons permet leur écrasement pendant l'impact, sans risque pour le corps. Les capots amortisseurs de chocs restent solidaires du corps de l'emballage. Le capot de fond est éventré suite à la chute oblique sur fond, ce qui est pris en compte dans les analyses thermiques.

Les épreuves réglementaires de chute relatives aux conditions normales de transport et aux conditions accidentelles ne causent aucune déformation susceptible de remettre en cause l'étanchéité de l'enveloppe de confinement de la maquette.

De plus, des analyses d'immersions à 15 m et 200 m sous l'eau sont étudiées. Ces analyses montrent que les immersions ne déforment pas les couvercles ni leurs tapes et que le confinement de l'emballage n'est pas compromis.

Risque de rupture fragile

Il est démontré que la virole et la soudure pleine pénétration virole/fond de virole de l'emballage TN 81 ne présentent aucun risque de rupture fragile à -40°C.

4. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE THERMIQUE

Les études thermiques de l'emballage TN81 ont été réalisées pour différents contenus :

- contenus de déchets vitrifiés : CSD-B, CSD-U, CSD-V et mixte CSD-V/CSD-B,
- contenus de déchets compactés (CSD-C) ou un mixte de déchets compactés (CSD-C) et vitrifiés de type CSD-B.

La puissance thermique des résidus vitrifiés de type CSD-V étant significativement supérieure à celle des autres déchets (CSD-U, CSD-B et CSD-C), les études thermiques des chargements en CSD-V sont utilisées comme études de référence et sont présentées ci-dessous.

Afin de valider le comportement thermique de l'emballage, deux types d'essais thermiques ont été réalisés :

- un essai thermique réalisé sur un modèle simplifié de l'emballage (maquette tranche), permettant l'étude de certains jeux et la conductivité thermique de certains matériaux dans des conditions normales et des conditions accidentelles de feu,
- un essai thermique de fin de fabrication réalisé sur un emballage échelle 1. Cet essai a notamment permis de recalculer le coefficient de convection de la zone ailetée en conditions normales de transport.

4.1. En conditions de transport de routine

Les températures atteintes par le colis en conditions de routine sont couvertes par celles atteintes en conditions normales de transport.

Identification :

DOS-07-00089301-002

Version :

1.0

Page 9 sur 17

Paramètres de contenu importants pour l'étude

La principale caractéristique utilisée dans cette étude est le plan de chargement thermique, c'est-à-dire la puissance thermique maximale par canister selon le positionnement dans la cavité (côté couvercle et côté fond de l'emballage).

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les principales caractéristiques de l'emballage influant sur les études thermiques sont :

- la géométrie de l'emballage,
- les propriétés matériaux des composants de l'emballage,
- le gaz de remplissage dans la cavité (hélium).

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les suivantes :

- le colis est transporté en position horizontale,
- la température extérieure a été déterminée afin de garantir une température maximale admissible en surface d'emballage, c'est-à-dire une température pour laquelle il est garanti qu'aucun composant ne dépasse sa température maximale d'utilisation. Cette température est de 76°C et est supérieure à la température réglementaire de 38°C de <1>>,
- l'ensoleillement réglementaire est appliqué de manière pénalisante 24h/24h.

Résultats de l'étude en CRT

Les températures maximales des composants sont sous leurs limites admissibles garantissant l'intégrité des matériaux et l'étanchéité de l'enceinte de confinement.

4.2. En conditions normales de transport

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales hypothèses utilisées sont les même que dans les conditions de transport de routine, complétées par la prise en compte des endommagements causés par une chute de l'emballage de 30 cm de haut.

Résultats de l'étude en CNT

Les températures maximales du colis sont utilisées dans les différentes parties du dossier de sûreté, notamment pour déterminer les caractéristiques mécaniques des composants pour l'analyse mécanique et pour déterminer la température des gaz de cavité pour l'analyse de confinement.

Les températures maximales des composants sont sous leurs limites admissibles garantissant l'intégrité des matériaux et l'étanchéité de l'enceinte de confinement.

Les températures maximales atteintes par les CSD-V respectent la valeur limite admissible.

4.3. En conditions accidentelles de transport

Paramètres de contenu importants pour l'étude

La caractéristique utilisée dans cette étude est le plan de chargement thermique (puissance thermique maximale par canister selon leur positionnement dans la cavité).

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les conditions initiales sont les conditions de transport de routine. Les calculs tiennent compte des endommagements consécutifs aux chutes en conditions normales et accidentelles de transport.

Hypothèse importante pour l'étude

La principale hypothèse utilisée est l'application d'une température ambiante de 800°C pendant 30 minutes autour du colis conformément à la réglementation <1>.

Résultats de l'étude en CAT

En conditions accidentelles de feu, le bon comportement de l'emballage TN 81 est démontré.

Les températures maximales atteintes par les CSD-V respectent la valeur limite admissible.

5. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE CONFINEMENT

L'étude est réalisée dans les conditions normales de transport (CNT) et dans les conditions accidentelles de transport (CAT) dans les trois cas spécifiques suivants :

- un emballage contenant des résidus vitrifiés de type CSD-V, CSD-U et CSD-B
- un emballage contenant des résidus compactés CSD-C
- un emballage contenant un mixte de résidus compactés (CSD-C) et vitrifiés (CSD-B)

Les résultats de l'étude du confinement des résidus vitrifiés (CSD-V, CSD-U et CSD-B) montrent que l'étude des résidus CSD-V suffit à couvrir l'étude des autres résidus vitrifiés.

L'activité relâchée est calculée en termes de A_2 , en se basant sur les taux de fuite suivant : taux mesuré avant transport, taux mesuré en maintenance pour les conditions normales et taux garanti suite aux mesures sur la maquette utilisée lors de la campagne de chute pour les conditions accidentelles.

L'étude pour les déchets compactés tient compte de :

- la perméation des gaz tritium et krypton à travers les joints élastomères,
- les fuites de gaz radioactif,
- les fuites des particules aérosols radioactives.

L'étude pour les résidus vitrifiés tient compte de :

- les produits de fissions Césium et Ruthénium,
- les fuites de gaz radioactives,
- les fuites des particules aérosols radioactives.

5.1. Paramètres de l'étude

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- le taux de fuite maximal de l'enceinte de confinement mesuré avant transport,
- la pression interne maximale dans la cavité,
- les températures maximales des gaz dans la cavité et des joints de l'enceinte de confinement issues de l'analyse thermique.

Dans le cas des résidus vitrifiés, on utilise les tolérances sur les masses des canisters et la pression partielle des gaz relâchée par la résine issus de l'étude mécanique.

Hypothèses importantes pour l'étude

Les principales caractéristiques utilisées sont les suivantes :

- dans le cas des déchets de type CSD-C : les canisters sont supposés inétanches,
- la pression maximale dans la cavité est calculée pour :
 - en conditions normales de transport : la rupture d'un canister,
 - en condition accidentelles de transport : la rupture de l'ensemble des canisters,
- la pression externe minimale est prise égale à 0,6 bar abs.

5.2. Conditions normales de transport

Le critère réglementaire de 10^{-6} A₂ par heure est respecté pour les trois cas étudiés (déchets compactés, déchets vitrifiés et mixte de déchets compactés et vitrifiés).

Il est vérifié que la pression maximale atteinte à l'intérieur de l'enceinte de confinement en CNT est inférieure à la valeur conservative de 10 bars considérée dans les analyses de tenue mécanique de l'enceinte de confinement.

5.3. Conditions accidentelles de transport

La principale différence avec le calcul en conditions normales de transport est la suivante :

- les températures maximales des gaz dans la cavité et des joints de l'enceinte de confinement, qui sont celles issues de l'analyse thermique en CAT.

Le critère réglementaire de 1 A₂ par semaine est respecté pour les trois cas étudiés (déchets compactés, déchets vitrifiés et un mixte de déchets compactés et vitrifiés).

Il est vérifié que la pression maximale atteinte à l'intérieur de l'enceinte de confinement en CNT est inférieure à la valeur conservative de 10 bars considérée dans les analyses de tenue mécanique de l'enceinte de confinement.

5.4. Analyse du relâchement de H₂ lors du transport de contenus CSD-C

Pour le scénario de transport défini, il est démontré que les taux de dihydrogène dans le ciel gazeux d'un canister (canisters étanches) et dans la cavité de l'emballage (canisters ruptés) restent inférieurs à la limite d'inflammabilité.

Les résultats obtenus montrent que tout risque d'inflammabilité lié au phénomène de radiolyse est exclu.

6. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE RADIOPROTECTION

Les études de radioprotection permettant d'évaluer les débits d'équivalents de dose sont réalisées pour l'ensemble des contenus suivants :

- emballage composé d'un chargement des résidus vitrifiés de type CSD-V, CSD-B, CSD-U ou d'un chargement mixte de CSD-V et CSD-B,
- emballage composé d'un chargement de résidus compactés CSD-C ou d'un chargement mixte de CSD-C et CSD-B.

Les résultats de ces études montrent que le chargement pénalisant vis-à-vis des débits d'équivalents de dose est le chargement composé de résidus vitrifiés de type CSD-V. Donc, seule cette étude est présentée ci-dessous.

Les critères retenus de débit d'équivalent de dose couvrant les conditions de transport sont les suivants :

- conditions de transport de routine (CTR) : 2 mSv/h au contact du colis ; 0,1 mSv/h à 2 m des parois verticales du véhicule avec lequel le transport de l'emballage est effectué,
- conditions normales de transport (CNT) : moins de 20% d'augmentation de l'intensité de rayonnement maximale au contact du colis,
- conditions accidentelles de transport (CAT) : 10 mSv/h à 1 m de la surface externe du colis.

6.1. En conditions de transport de routine

Paramètres du contenu importants pour les études

Dans cette étude (comme pour toutes les conditions de transport), il est considéré que :

- l'activité neutron et gamma de capture maximale dépend des radionucléides suivants : Am-241, Cm-244,
- l'activité gamma maximale dépend des radionucléides suivants : Sr-90 + Y-90, Ru-106 + Rh-106, Cs-134, Cs-137, Ce-144 + Pr-144, Eu-154.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

La protection contre les rayonnements est assurée par la nature et l'épaisseur des matériaux de l'emballage.

Le blindage radial en partie courante est principalement formé par :

- la virole épaisse en acier,
- les profilés en aluminium, contenant du plomb, une plaque d'acier et de la résine.

Le blindage radial au niveau des tourillons est principalement formé par :

- l'acier des tourillons,
- la résine interne et externe aux tourillons.

Le blindage radial au niveau des couronnes est principalement formé par :

- la virole forgée en acier,
- les couronnes aluminium,
- les blocs de plomb sous les renforts sous-couronnes,
- les renforts sous-couronnes en aluminium, comprenant de la résine.

Le blindage axial en tête est principalement constitué par :

- un couvercle massif en acier,

Identification :

DOS-07-00089301-002

Version :

1.0

Page 13 sur 17

- la résine et son enveloppe en acier,
- le capot amortisseur de tête.

Le blindage axial en fond est principalement constitué par :

- la plaque de fond,
- le fond forgé de la virole,
- la résine et son enveloppe en acier,
- le capot amortisseur de fond.

Hypothèses importantes pour l'étude

L'emballage est considéré en configuration T1, c'est-à-dire sans son couvercle secondaire.

L'effet du vieillissement de la résine a été pris en compte au niveau de la résine des profilés aluminium, des tourillons et des renforts sous couronne.

Résultats de l'étude

Le respect des critères réglementaires de débit d'équivalent de dose en conditions de transport de routine est garanti par le contenu radioactif maximal prévu pour le colis qui est défini par des inéquations de transport caractérisant les termes sources acceptables.

6.2. En conditions normales de transport

En condition normales de transport, l'analyse du débit d'équivalence de dose suite à une chute réglementaire de 30 cm est étudiée. Le débit de dose après cette chute est calculé en utilisant l'écrasement des capots amortisseur. L'augmentation du débit d'équivalence de dose est obtenue en tenant compte du rapprochement de la source par rapport à la surface externe de l'emballage.

Il est démontré que, dans ce cas, les débits d'équivalent de dose en conditions normales de transport n'augmentent pas de plus de 20% par rapport aux débits d'équivalent de dose maximaux en conditions de transport de routine.

6.3. En conditions accidentelles de transport

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude

Les conditions sont équivalentes aux CRT en considérant les endommagements de l'emballage suivants :

- le capot amortisseur de fond et le bois du capot amortisseur de tête sont supposés perdus,
- la résine en partie radiale, au niveau des tourillons et en axiale fond est considérée partiellement dégradée,
- la résine en partie axiale tête et au niveau des renforts sous couronne est dégradée.

Résultats de l'étude

Les débits d'équivalent de dose obtenus à 1 mètre de l'emballage en conditions accidentelles de transport respectent le critère réglementaire à partir du moment où le système d'inéquation présenté au § 6.1 est respecté.

7. PERFORMANCES D'UN POINT DE VUE SURETE-CRITICITE

Les études de criticité sont réalisées pour l'ensemble des contenus suivants :

- emballage composé d'un chargement de résidus vitrifiés de type CSD-V, CSD-B, CSD-U ou d'un chargement mixte de CSD-V et CSD-B,
- emballage composé d'un chargement de résidus compactés CSD-C ou d'un chargement mixte de CSD-C et CSD-B.

Les résultats pour les études sur un contenu vitrifié de type CSD-V, CSD-B, CSD-U ou d'un chargement mixte de CSD-V et CSD-B montrent que le chargement pénalisant vis-à-vis de la sûreté-criticité est le chargement composé de résidus vitrifiés de type CSD-V.

Les résultats pour les études sur un contenu compacté ou un chargement mixte CSD-C et CSD-B montrent que le chargement pénalisant vis-à-vis de la sûreté-criticité est le chargement composé de résidus compactés CSD-C.

Ces deux études seront considérées pour la suite.

La sûreté-criticité doit être assurée, suivant la réglementation <1> pour :

- le colis isolé en conditions de routine,
- le colis isolé en conditions normales de transport (c'est-à-dire résultant des épreuves réglementaires des conditions normales de transport),
- le colis isolé en conditions accidentelles de transport (c'est-à-dire résultant du cumul des épreuves des conditions normales et conditions accidentelles de transport),
- l'agencement de 5N colis (N étant le nombre permettant de définir la valeur du coefficient réglementaire – Criticality Safety Index CSI) en conditions normales de transport,
- l'agencement de 2N colis en conditions accidentelles de transport.

Le calcul du coefficient de multiplication effectif (k_{eff}) est effectué pour un colis isolé dans les conditions normales de transport suivies des conditions accidentelles de transport, couvrant le cas des conditions de routine et des conditions normales de transport.

Le critère de sûreté-criticité retenus est le suivant :

- $k_{eff} + 3\sigma < 0,950$ pour un colis isolé ; toutes incertitudes comprises,
- $k_{eff} + 3\sigma < 0,980$ pour un ensemble de colis ; toutes incertitudes comprises.

7.1. Colis isolé

Paramètres du contenu importants pour l'étude :

Les masses d' ^{235}U ou de ^{239}Pu considérées correspondent à des masses interprétées comme étant des masses d' ^{235}U seules ou de ^{239}Pu seules.

Paramètres de l'emballage importants pour l'étude :

Pour les déchets compactés : Le colis est entouré d'une couronne d'eau de 200 mm.

Hypothèses importantes pour l'étude :

Pour les déchets compactés :

- l'influence de la densité d'eau dans la cavité est étudiée,
- l'influence de la masse d'eau,
- l'influence axiale de la matière fissile.

Pour les déchets vitrifiés CSD-V :

- l'influence de la densité d'eau dans la cavité est étudiée.

Résultats de l'étude

La réactivité maximale du colis est inférieure à 0,950, dans les deux cas étudiés (emballage chargé de CSD-V ou emballage chargé de CSD-C)

Ainsi, la sous-criticité du colis isolé en transport est assurée dans les conditions normales de transport suivies des conditions accidentelles de transport.

7.2. Réseau de colis

L'emballage TN 81 est constitué d'une virole épaisse en acier (épaisseur supérieure à 200 mm) qui isole neutroniquement son contenu. Ainsi, le respect du critère $k_{\text{eff}} + 3\sigma \leq 0,950$ pour le colis isolé (toutes incertitudes comprises) permet d'assurer le respect du critère réglementaire pour un réseau infini de colis.

Ainsi, l'indice de sûreté-criticité (CSI) vaut 0.

8. CONDITIONS D'UTILISATION

L'emballage est conçu pour être :

- chargé et déchargé verticalement à sec,
- transporté horizontalement et à sec,
- stocké verticalement à sec (lorsque qu'il s'agit d'un contenu composé uniquement de canisters de type vitrifié).

Les analyses de sûreté décrites ci-avant nécessitent notamment d'exécuter les étapes, les vérifications et critères ci-dessous avant l'expédition du colis :

- les canisters chargés doivent respecter l'ensemble des caractéristiques techniques définies par le contenu autorisé,
- le bon état et la propreté des joints ainsi que des couvercles doivent être vérifiées,
- contrôle de la bonne fermeture (couple de serrage des vis) et du niveau d'étanchéité (taux de fuite) de tous les composants assurant l'étanchéité,
- remplissage en hélium de la cavité à une pression maximale définie lorsqu'il s'agit d'un contenu de canisters de type vitrifié et en air lorsqu'il s'agit d'un contenu de type compacté,
- contrôle des débits d'équivalent de dose maximaux autour du colis en conformité avec les limites réglementaires,
- mise en place de scellés sur le capot de tête,
- vérification de la non-contamination et des niveaux de débits d'équivalent de dose de l'emballage et du véhicule conformément aux critères réglementaires,
- la mise en place de l'étiquetage / marquage réglementaire et de la documentation de transport.

9. PROGRAMME D'ENTRETIEN PERIODIQUE

Le programme d'entretien prévu au cours de l'utilisation de l'emballage varie selon l'utilisation qui est faite de l'emballage et est défini en fonction de deux types de périodicités suivant les composants importants pour la sûreté : le nombre de cycles de transport réalisés et la durée d'utilisation.

Les utilisations de l'emballage TN 81 sont les suivantes :

- stockage,
- déplacement de l'emballage chargé vers un autre site,
- transport de routine.

Programme d'entretien pour le stockage

Lors du stockage l'emballage TN 81 n'est soumis à aucune charge ou variation thermomécanique, aucun programme d'entretien n'est à prévoir.

Programme d'entretien pour le déplacement et le transport

Le programme d'entretien comprend :

- le remplacement des joints de la barrière d'étanchéité pour une durée compatible avec leurs durées de vie,
- le contrôle des tourillons assurant la manutention et l'arrimage du colis, incluant la détection de défaut, ainsi que le démontage des tourillons et des essais de charge après remontage,
- le contrôle de l'état des composants des systèmes vissés (enceinte de confinement, capots tourillons) afin de vérifier le maintien de leurs fonctions de sûreté.

Tout emballage présentant un ou des composants ne satisfaisant pas aux critères spécifiés dans le programme d'entretien est mis hors service jusqu'à ce que l'action corrective appropriée soit effectuée.

Tout composant devenu non conforme peut être réparé ou accepté en l'état si une analyse complémentaire démontre que cela ne remet pas en cause les conclusions du dossier de sûreté. Dans le cas contraire, le composant doit être remplacé.

10. PROGRAMME D'ASSURANCE QUALITE

Les réglementations de <1> font obligation d'appliquer pour les colis de matières radioactives des programmes d'assurance de la qualité pour :

- la conception,
- la fabrication et les épreuves,
- l'utilisation,
- la maintenance,
- le transport.

Ces activités sont réalisées par différents acteurs (concepteur, maître d'ouvrage, maître d'œuvre, constructeurs, utilisateurs, expéditeurs, transporteurs, sociétés de maintenance...) qui doivent tous établir des programmes d'assurance de la qualité adaptés à celles-ci, et produire et conserver les documents justificatifs (enregistrements) de leur activité.

11. REFERENCES

<1> Règlement de transport des matières radioactives, normes de sûreté de l'Agence International de l'Energie Atomique, Edition applicable : n°SSR-6, édition 2012.

Les règles de conception et d'épreuves du règlement de l'AIEA englobent celles des règlements applicables suivants :

- Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (ADR),
- Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses (RID),
- Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par voies de navigations intérieures (ADN),
- Code maritime international des marchandises dangereuses (code IMDG et l'OMI),
- Arrêté du 29 mai 2009 modifié relatif aux transports de marchandises dangereuses par voies terrestres (arrêté TMD),
- Arrêté du 23 novembre 1987 modifié relatif à la sécurité des navires, division 411 du règlement annexé (arrêté RSN).